

сти полимера, что способствует проявлению инертности к агрессивным внешним средам.

### Список литературы

1. Ivin K.J., Mol J.C. Olefin metathesis and metathesis polymerization.– San Diego: Academic Press, 1997.– 472 p.
2. Perring M., Long T.R., Bowden N.B. Epoxidation of the surface of polydicyclopentadiene for the self-assembly of organic monolayers // J. Mater. Chem., 2010.– Vol.20.– P.8679–8685.
3. Рутениевый катализатор метатезисной полимеризации дициклопентадиена и способ его получения: пат. 2409420 Российской Федерации БИ, 2011.– №2.

---

## Исследование закономерностей окисления дициклопентадиена с различными стабилизирующими добавками, методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектором

Д.А. Русаков, М.К. Заманова, А.А. Ляпков  
Научный руководитель – д.х.н., профессор Е.И. Короткова

*Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30*

За прошедшие полвека полимерные материалы прочно вошли в современную жизнь, заменяя собой традиционные материалы конструкционной, бытовой и медицинской направленности. Одной из ключевых позиций полимерных материалов является расширение возможностей конструкционных материалов, обладая низкой плотностью и хорошими физико-механическими показателями, полимеры заменяют собой традиционные конструкционные материалы. Одним из таких материалов является полидициклопентадиен (пДЦПД), получаемый метатезисной полимеризацией с раскрытием цикла (ROMP) на металлоорганических катализаторах. Дициклопентадиен (ДЦПД) – мономер для получения пДЦПД, является побочным продуктом термического пиролиза нефти. ДЦПД представляет собой циклический углеводород с двумя двойными связями, в норборненовом и циклопентеновом кольце. Вступая в ROMP-полимеризацию, сначала чаще всего происходит раскрытие более напряженного норборненового кольца, с образованием линейного полимера, а после происходит раскрытие циклопентенового кольца, с образованием поперечных сшивок между полимерными цепями. Таким образом, получается сшитый, жесткий полимер с относительно малой плотностью ( $1,03 \text{ г/см}^3$ ) и хорошими физико-механическими показате-

лями [1, 2].

Проявляя высокую реакционную способность, ДЦПД способен реагировать с кислородом воздуха по двойной связи, образуя окисленные формы, которые препятствуют протеканию реакции полимеризации [3]. Из-за этого с мономером приходится работать или в безвоздушной среде или же использовать стабилизирующие добавки (антиоксиданты) для предотвращения окисления воздухом. В данной работе используются антиоксиданты различной природы, с целью оценки их эффективности в предотвращении окисления ДЦПД. Методом оценки является газовая хроматография с масс-спектрометрическим детектированием.

В работе был использован контрольный образец ДЦПД для оценки относительно него интенсивности окисления. Использовались следующие антиоксиданты: 1) Irganox 1010 – первичный антиоксидант фенольной природы с четырьмя фенольными кольцами 2) Ионол (BHT) – первичный антиоксидант фенольной природы с одним фенольным кольцом 3) Irgafos 168 – вторичный антиоксидант фосфатной природы 4) DSTDP – вторичный серосодержащий антиоксидант. Антиоксиданты использовались в концентрации 0,5% по массе, масса мономера составляла 10 г. Окисление происходило в открытых стеклянных емкостях объемом 15 мл при 60 °С в течение 18 дней. В течении этого периода было снято 5 измерений для каждого антиоксиданта. Полученные результаты обобщены в таблице 1.

**Таблица 1.** Данные газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием, по остаточному содержанию ДЦПД в исследуемых образцах (в процентах)

	1 день	3 день	5 день	11 день	18 день
ДЦПД + irganox 1010	99,713	99,656	99,408	99,096	98,862
ДЦПД + BHT	99,804	99,750	99,691	99,378	99,519
ДЦПД + Irgafos 168	99,408	99,060	98,896	98,690	97,155
ДЦПД + DSTDP	99,273	98,777	98,303	98,494	98,084
Чистый ДЦПД	99,294	98,837	97,768	97,922	96,594

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы: 1) происходит окисление ДЦПД, что видно по уменьшению его содержания в контрольном образце 2) фенольные антиоксиданты (особенно BHT) предотвращают переход чистого ДЦПД в окисленные формы 3) вторичные антиоксиданты (Irgafos 168 и DSTDP) лишь в незна-

чительной степени предотвращают окисление. Можно рекомендовать к использованию для предотвращения окисления в ДЦПД антиоксидант ВНТ или его аналоги.

### Список литературы

1. Ivin K.J., Mol J.C. Olefin metathesis and metathesis polymerization.– San Diego: Academic Press, 1997.– 472 p.
2. Singh O.M. Metathesis catalysts: Historical developments and practical applications // J. Sci. Indust. Research, 2006.– Vol.65.– P.957–965.
3. Mol J.C. Industrial applications of olefin metathesis // J. Molecular Catalysis.– A: Chemical, 2004.– Vol.213.– P.39–45.

---

### Протонпроводящие мембраны для топливных элементов

А.Э. Синев

Научный руководитель – к.х.н., доцент О.В. Лебедева

*Иркутский национально исследовательский технический университет  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, lebedeva@istu.edu*

Твердополимерные топливные элементы являются наиболее перспективными и экологически приемлемыми источниками электрической энергии настоящего и ближайшего будущего. Главными компонентами в топливных элементах являются протонпроводящие мембраны [1, 2]. Наиболее распространенными являются системы на основе мембран «Nafion» и различные модификации.

Рядом достоинств, в сравнении с коммерческими перфторированными протонообменными мембранами «Nafion» обладают продукты зольгель синтеза с участием тетраэтоксисилана [3].

Целью нашей работы явился синтез и исследование характеристик протонпроводящих мембран, полученных зольгель методом. Синтезированные нами мембраны представляют собой полимерные пленки.

Методом зольгель синтеза, нами сформированы мембраны с участием 3-пиридинсульфокислоты (ПСК) или 2-фенил-5-бензимидазолсульфокислоты (ФБИСК), тетраэтоксисилана, поливинилбутирала и ортофосфорной кислоты, исследованы свойства гибридных мембран в сравнении с перфторированными мембранами Nafion 212 и Ф-4СК.

Формирование таких мембран можно представить как процесс, протекающий через несколько последовательных и параллельных стадий. Гидролитическая поликонденсация ТЭОС в водно-спиртовой кислотной среде приводит к образованию, преимущественно, растворимых